

REGIONE SICILIANA  
LIBERO CONSORZIO COMUNALE DI TRAPANI  
COMUNI DI CALATAFIMI SEGESTA E GIBELLINA

PROGETTO PER LA REALIZZAZIONE DI UN IMPIANTO EOLICO DI POTENZA PARI A  
 $P_n = 75,4 \text{ MW}$  ( $P_i = 72 \text{ MW}$ ), SU TERRENO SITO NEL COMUNE DI CALATAFIMI SEGESTA (TP)  
 IN CATASTO AI FG. 94 P.LLE 246, 247, 368, 248, 340, 411, AL FG. 99 P.LLE 93, 92, 3, AL FG. 107 P.LLE  
 7, 15, 16, 123, 209, 208, 54, 206, AL FG. 104 P.LLE 4, 49, 33, 156, 157, AL FG. 106 P.LLE 93, 86, 23, 94,  
 AL FG. 107 P.LLA 44, AL FG. 105 P.LLA 128, AL FG. 115 P.LLE 192, 136, 281, 66, 208, AL FG. 117 P.LLE  
 38, 28, E AL FG. 98 P.LLE 468, 463, 469, 470, 471 E ALTRE AFFERENTI ALLE OPERE DI RETE NEI  
 COMUNI DI CALATAFIMI SEGESTA E GIBELLINA (TP)

<p>Timbro e firma del progettista</p> <p><b>Capital Engineering snc</b> Ing. Vincenzo Massaro</p>  <p><b>Capital Engineering snc</b> Ing. Salvatore Li Vigni</p> 	<p>Timbri autorizzativi</p>
--	-----------------------------

## STUDIO SUGLI EFFETTI DI SHADOW FLICKERING

IDENTIFICAZIONE ELABORATO							
Livello prog.	ID Terna S.p.A.	Tipo Elabor.	N.ro Elabor.	Project ID	NOME FILE	DATA	SCALA
<b>PDef</b>	202100949	Relazione	14	CANICHIDDEUSI	CANICHIDDEUSI Shadow Flickering Dft.00 del 05 12 22.doc	19.12.2022	-
REVISIONI							
VERSIONE	DATA	DESCRIZIONE			ESEGUITO	VERIFICATO	APPROVATO
Rev.00	19.12.2022	Prima emissione			GR	MC	VM

<p>IL PROPONENTE</p> <p style="text-align: center; font-size: 1.2em; font-weight: bold; color: green;">CANICHIDDEUSI WIND SRL</p> <p style="font-size: 0.8em;">Sede legale: Corso di Porta Vittoria, 9 - 20122 - Milano          PEC: canichiddeusiwind@mailcertificata.net          P.IVA 12673200965</p>	<p>PROGETTO DI</p> <div style="text-align: center;">  <p>Capital Engineering S.n.c.            Sede legale: Via Trinacria, 52 - 90144 - Palermo            e-mail: info@capitalengineering.it</p> </div> <p>SU INCARICO DI</p> <div style="text-align: center;">  <p>Coolbine S.r.L.            Grounded Clean Ventures            Sede legale: Via Trinacria, 52 - 90144 - Palermo            e-mail: progettazione@coolbine.it</p> </div>
--	---



Sommario

1. Introduzione.....	2
2. Modello di calcolo.....	4
3. Analisi.....	6
4. Determinazione dei ricettori.....	26
5. Risultati .....	41
6. Conclusioni.....	43

## 1. Introduzione

Lo shadow flickering (letteralmente ombreggiamento intermittente) è l'espressione comunemente impiegata per descrivere una variazione periodica dell'intensità luminosa osservata. Tale effetto (stroboscopico) è causato dalla proiezione, su una generica superficie, dell'ombra indotta da oggetti in movimento. Nel caso specifico di un impianto eolico tale fenomeno è generato dalla proiezione, al suolo o su un ricettore (abitazione), dell'ombra prodotta dalle pale in rotazione degli aerogeneratori allorché il sole si trova alle loro spalle (figura 1).

Il fenomeno, dal punto di vista di un potenziale ricettore, si traduce in una variazione alternata e ciclica di intensità luminosa che, a lungo andare, può provocare fastidio agli occupanti delle abitazioni le cui finestre risultano esposte al fenomeno stesso. Il fenomeno, ovviamente, risulta assente sia quando il sole è oscurato da nuvole o dalla nebbia, sia quando, in assenza di vento, le pale dell'aerogeneratore non sono in rotazione.

In particolare, le frequenze che possono provocare un senso di fastidio sono comprese tra i 2.5 ed i 20 Hz (Verkuijlen and Westra, 1984), e, l'effetto sugli individui è simile a quello che si sperimenterebbe in seguito alle variazioni di intensità luminosa di una lampada ad incandescenza a causa di continui sbalzi della tensione della rete di alimentazione elettrica.

I più recenti aerogeneratori tripala operano ad una velocità di rotazione inferiore ai 35 giri al minuto, corrispondente ad una frequenza di passaggio delle pale sulla verticale inferiore a 1.75 Hz, minore, quindi, della frequenza critica di 2.5 Hz. Inoltre, i generatori di grande potenza (dal MW in su) raramente superano la velocità di rotazione di 20 giri al minuto, corrispondente a frequenze di passaggio delle pale ampiamente minori di quelle ritenute fastidiose per la maggioranza degli individui.

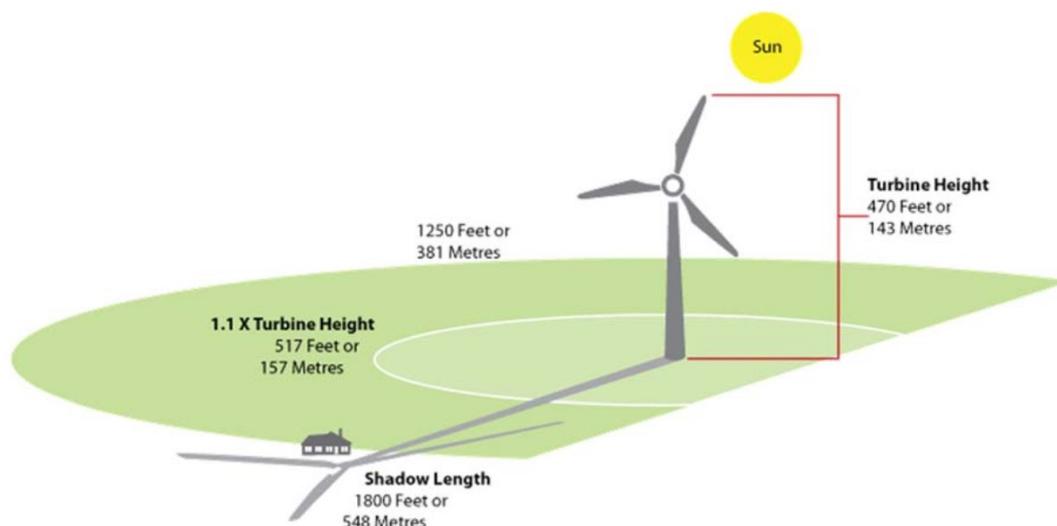


Fig. 1.1 - rappresentazione schematica del fenomeno dello shadow flicker

Tale fenomeno, se sperimentato da un ricettore per periodi di tempo prolungati, può generare un disturbo, nelle seguenti condizioni:

- presenza di un livello sufficiente di intensità luminosa, ovvero in condizioni di cielo sereno sgombro da nubi ed in assenza di nebbia e con sole alto rispetto all'orizzonte;
- assenza di ostacoli sulla congiungente ricevitore - aerogeneratore: la presenza di vegetazione e/o edifici interposti l'ombra generata da questi ultimi annullerebbe il fenomeno. Quindi, condizione favorevole affinché il fenomeno in esame si verifichi, è quella rappresentata dall'orientamento perpendicolare delle finestre di un'abitazione rispetto alla linea congiungente il ricevitore all'aerogeneratore in assenza di ostacoli fisici (alberi, altri edifici ecc...);
- orientamento perpendicolare del rotore rispetto alla congiungente sole - ricevitore: infatti, quando il piano del rotore è perpendicolare alla linea sole-ricevitore, l'ombra proiettata dalle pale risulta muoversi all'interno di un "disco" che induce un effetto non trascurabile di shadow flickering; viceversa, nel caso in cui il piano del rotore risulti essere in linea con il sole, l'ombra proiettata risulterebbe molto assottigliata e di bassa intensità per cui l'effetto di shadow flickering sarebbe del tutto trascurabile.

Inoltre, affinché lo shadow flickering, abbia un'intensità non trascurabile è necessario che:

- la posizione del sole sia tale da produrre una luminosità sufficiente; tale condizione corrisponde, per la latitudine di progetto, in un'altezza del sole sull'orizzonte dell'ordine di almeno 10-15 gradi;
- le pale del rotore siano ovviamente in rotazione;
- l'aerogeneratore ed il potenziale ricevitore non siano troppo distanti: infatti, le ombre proiettate in prossimità dell'aerogeneratore risultano di maggiore intensità rispetto a quelle proiettate ad una distanza crescente. Tale condizione deriva dal fatto che in presenza di un ricevitore molto prossimo all'aerogeneratore, una porzione ampia di pala copre il disco solare così come osservato dal punto di vista del ricevitore stesso, e, quindi, l'intensità del flicker risulta maggiormente percepibile. All'aumentare della distanza tra aerogeneratore e ricevitore, le pale, durante il loro moto di rotazione, andranno a coprire una porzione sempre più piccola del disco solare, inducendo un effetto di flicker di minore intensità.

Alla luce di quanto sopra esposto, le relazioni spaziali tra un aerogeneratore ed un ricevitore (abitazione), così come la direzione del vento risultano essere fattori chiave per la durata del fenomeno di shadow flicker. Per distanze dell'ordine dei 350 m, il fenomeno in esame potrebbe verificarsi all'alba oppure al tramonto, ovvero in quelle ore in cui le ombre risultano molto lunghe e la radiazione diretta è di minore intensità per effetto della piccola elevazione solare. Al di là di una certa distanza l'ombra smette di essere un problema perché il rapporto tra lo spessore della pala ed il diametro apparente del sole diventa molto piccolo. Quindi, come è facile immaginare, la condizione più penalizzante corrisponde al caso in cui il piano del rotore risulta ortogonale alla congiungente ricevitore-sole; infatti, in tali condizioni, l'ombra proiettata darà origine ad un cerchio di diametro pari a quello del rotore del generatore eolico. Sebbene il fenomeno possa essere percepito anche all'esterno, esso risulta evidente e fastidioso in quegli ambienti con finestrate rivolte verso le ombre. In generale, l'area soggetta a shadow flicker non si estende oltre i 500-1000 m

dall'aerogeneratore e le zone a maggiore impatto ricadono entro i 300-400 m di distanza dalle macchine con durata del fenomeno dell'ordine delle 200 ore all'anno; il flickering, se presente, non supera in genere i 30/40 minuti di durata potenziale nell'arco di una giornata.

L'intensità del fenomeno è definita come la differenza di luminosità che si percepisce in presenza ed in assenza di flickering in una data posizione. In definitiva, si può affermare che:

- avendo le pale una forma rastremata con lo spessore che cresce verso il mozzo; il fenomeno risulterà tanto più intenso quanto maggiore sarà la porzione di disco solare coperta dalla pala stessa e quanto minore la distanza dal ricettore;
- l'intensità del flickering sarà minima quando l'ombra prodotta è generata all'estremità delle pale;
- maggiori distanze tra generatore e ricettore determinano ombre meno nette; in tal caso l'effetto flickering risulterà meno intenso e distinto.

## 2. Modello di calcolo

Il calcolo dell'evoluzione giornaliera delle ombre è stato effettuato tenendo conto della posizione geografica del luogo (latitudine e longitudine), dei periodi dell'anno (equinozi e solstizi), e dell'orario giornaliero.

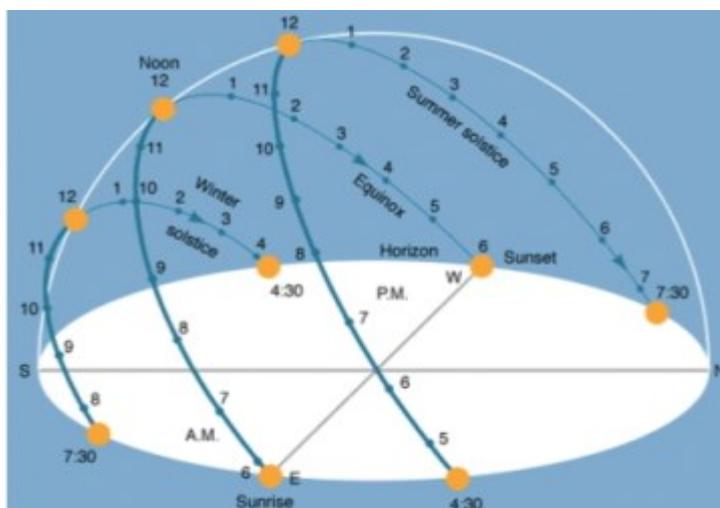


Fig. 2.1 - rappresentazione dell'evoluzione annuale della posizione del sole

Lo spostamento del sole sulla volta celeste, descrive nel suo moto apparente un arco inclinato di un angolo  $\alpha$  (altezza del Sole) rispetto al piano dell'area interessata dal calcolo. Il Sole nel suo moto apparente diurno incrocia il meridiano celeste del luogo dell'osservatore nel momento della sua massima altezza sull'orizzonte, indicato come mezzogiorno solare vero; in quell'attimo l'ombra di uno stilo verticale (detto anche gnomone) si proietta sul piano orizzontale lungo la linea meridiana o meridiano del luogo, da Sud a Nord, e raggiunge la sua lunghezza minima. L'ombra dello gnomone

su una superficie orizzontale segue due movimenti simmetrici rispetto alla linea meridiana, uno mattutino e uno pomeridiano.

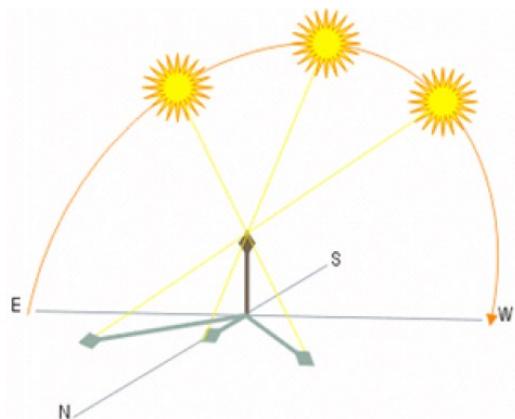


Fig. 2.2 - schema di proiezione al suolo dell'ombra

La retta immaginaria che congiunge il Sole, la punta dello gnomone e l'estremità dell'ombra proiettata descrive, nell'arco di un dì, una superficie conica. L'intersezione tra questa superficie conica e il piano orizzontale è una curva che alle nostre latitudini è generalmente un ramo di iperbole, con la sua massima concavità verso *Sud* al solstizio estivo (declinazione  $+23^{\circ} 27'$ ) e la sua massima concavità verso Nord al solstizio invernale (declinazione  $-23^{\circ} 27'$ ); da un solstizio all'altro passa per la situazione in cui la curva degenera in una retta, esattamente nei giorni degli equinozi (declinazione  $0^{\circ}$ ).

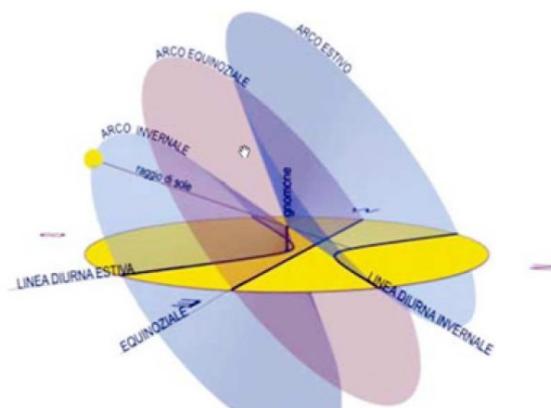


Fig. 2.3 - rappresentazione dell'evoluzione annuale della linea d'ombra al suolo

In un qualsiasi momento di una giornata soleggiata, l'ombra proiettata sul piano orizzontale da un bastone verticale o da un filo a piombo, forma con la direzione della linea Nord-Sud, a partire da Nord in senso orario, un angolo pari all'azimut del Sole sull'orizzonte.

Relativamente ad ogni scansione temporale (il passo è orario) viene dapprima calcolata la posizione del sole, vale a dire gli angoli di azimut e di alzata, relativi alla località, dunque l'angolo di incidenza fra direzione dei raggi solari e

normale alla superficie, funzione delle posizioni del sole e della superficie. La declinazione del Sole si ricava dagli Almanacchi astronomici o dalle tabelle.

L'angolo orario va calcolato in base all'ora del giorno, considerando che il Sole medio apparentemente si sposta di un angolo di 15° all'ora, da Est a Ovest, a partire dal mezzogiorno solare.

### 3. Analisi

Per ottenere le proiezioni delle ombre, si è calcolato con passo orario e per ognuno dei quattro periodi dell'anno, solstizio invernale, equinozio di primavera, solstizio d'estate ed equinozio d'autunno, l'evoluzione delle ombre delle turbine eoliche per la località avente le caratteristiche:

Località: Calatafimi Segesta (TP)

Altezza Torre 119,00 m

Diametro del Rotore 162,00 m

I risultati sono stati ottenuti attraverso i diagrammi solari (Fig. 3.1, Fig. 3.2), per ogni periodo dell'anno. Ottenuti altezza e angolo azimutale del sole nell'arco della giornata (Fig. 3.4, Fig. 3.5), si è potuta calcolare l'ombra degli aerogeneratori con la seguente relazione:

$$L = H / \tan(\alpha)$$

dove:

**L** è la lunghezza dell'ombra sul piano perpendicolare all'aerogeneratore;

**H** altezza massima aerogeneratore ;

**$\alpha$**  angolo d'incidenza raggi solari rispetto al piano orizzontale (altezza solare).

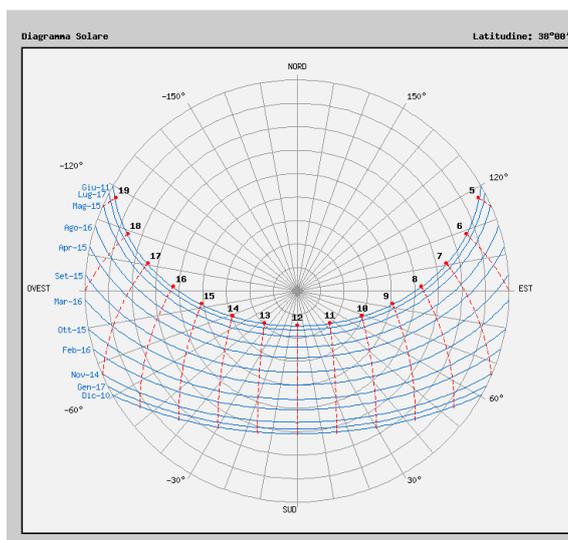


Fig.3.1 - Diagramma polare annuale

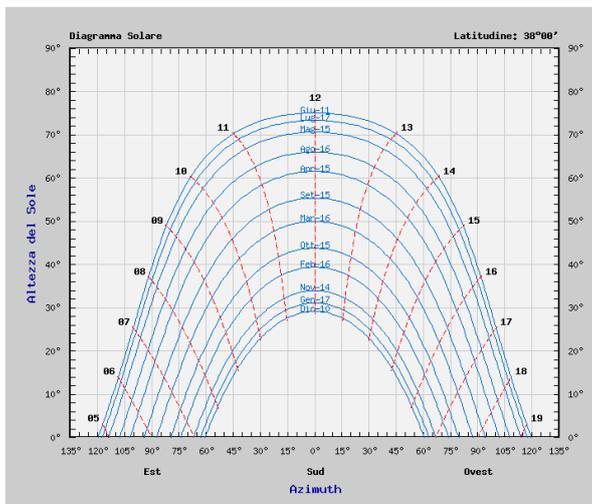


Fig.3.2 - Diagramma cartesiano annuale

Giorno	Alba	Tramonto	Durata del giorno
17-gen	7h 28'	17h 09'	9h 41'
16-feb	7h 04'	17h 43'	10h 39'
16-mar	6h 25'	18h 12'	11h 47'
15-apr	5h 39'	18h 39'	13h 00'
15-mag	5h 04'	19h 06'	14h 02'
11-giu	4h 51'	19h 26'	14h 35'
17-lug	5h 04'	19h 26'	14h 22'
16-ago	5h 29'	18h 59'	13h 30'
15-set	5h 54'	18h 15'	12h 21'
15-ott	6h 21'	17h 29'	11h 08'
14-nov	6h 53'	16h 55'	10h 02'
10-dic	7h 19'	16h 45'	9h 26'

Fig.3.3 - Durata del Giorno per il periodo annuale

Ora	17-gen	16-feb	16-mar	15-apr	15-mag	11-giu	17-lug	16-ago	15-set	15-ott	14-nov	10-dic
03:00												
04:00												
05:00						1°37'						
06:00				4°01'	10°24'	12°25'	10°08'	5°55'	1°12'			
07:00			6°55'	15°48'	21°59'	23°48'	21°33'	17°36'	13°00'	7°34'	1°20'	
08:00	5°32'	10°25'	18°25'	27°33'	33°47'	35°31'	33°17'	29°24'	24°36'	18°32'	11°38'	6°50'
09:00	14°56'	20°35'	29°15'	38°56'	45°30'	47°19'	45°04'	41°01'	35°33'	28°27'	20°42'	15°41'
10:00	22°44'	29°17'	38°47'	49°19'	56°38'	58°49'	56°33'	51°55'	45°12'	36°37'	27°55'	22°46'
11:00	28°17'	35°46'	46°03'	57°30'	66°02'	69°06'	66°48'	60°58'	52°21'	42°04'	32°33'	27°27'
12:00	30°56'	39°06'	49°44'	61°24'	70°39'	74°56'	73°02'	65°48'	55°20'	43°46'	33°56'	29°09'
13:00	30°17'	38°40'	48°49'	59°17'	67°16'	71°23'	70°44'	63°53'	53°05'	41°20'	31°50'	27°39'
14:00	26°26'	34°33'	43°35'	52°09'	58°24'	61°49'	61°56'	56°22'	46°26'	35°19'	26°36'	23°08'
15:00	19°55'	27°30'	35°17'	42°17'	47°26'	50°30'	50°53'	46°07'	37°04'	26°46'	18°55'	16°11'
16:00	11°26'	18°24'	25°09'	31°07'	35°46'	38°44'	39°11'	34°45'	26°14'	16°37'	9°33'	7°25'
17:00	1°33'	7°59'	14°01'	19°26'	23°58'	26°58'	27°23'	22°59'	14°43'	5°31'		
18:00			2°21'	7°38'	12°20'	15°29'	15°47'	11°13'	2°55'			
19:00					1°08'	4°30'	4°39'					
20:00												
21:00												

Fig.3.4 - Altezza del sole

Ora	17-gen	16-feb	16-mar	15-apr	15-mag	11-giu	17-lug	16-ago	15-set	15-ott	14-nov	10-dic
03:00												
04:00												
05:00						118°20'						
06:00				98°54'	105°39'	109°40'	109°14'	103°09'	93°18'			
07:00			81°56'	89°47'	97°03'	101°26'	100°51'	94°15'	84°00'	73°20'	65°43'	
08:00	57°58'	64°50'	72°04'	80°06'	88°04'	93°01'	92°17'	84°57'	73°58'	63°03'	55°48'	53°52'
09:00	47°24'	53°54'	60°42'	68°45'	77°34'	83°25'	82°35'	74°10'	62°08'	50°59'	44°19'	43°02'
10:00	35°05'	40°54'	46°42'	53°58'	63°24'	70°37'	69°51'	60°02'	47°01'	36°14'	30°48'	30°27'
11:00	20°50'	25°18'	28°52'	33°07'	40°47'	49°09'	49°27'	39°11'	26°56'	18°20'	15°11'	16°05'
12:00	5°00'	7°19'	7°06'	4°46'	3°37'	7°16'	12°03'	8°07'	1°55'	-1°51'	-1°49'	0°29'
13:00	-11°17'	-11°31'	-15°55'	-25°06'	-35°35'	-40°14'	-33°24'	-26°16'	-23°33'	-21°47'	-18°38'	-15°08'
14:00	-26°36'	-29°03'	-36°18'	-48°20'	-60°22'	-66°00'	-61°05'	-51°38'	-44°27'	-39°08'	-33°50'	-29°36'
15:00	-40°07'	-44°02'	-52°32'	-64°40'	-75°31'	-80°23'	-76°47'	-68°17'	-60°11'	-53°20'	-46°54'	-42°18'
16:00	-51°41'	-56°31'	-65°22'	-76°51'	-86°26'	-90°34'	-87°39'	-80°18'	-72°23'	-65°01'	-58°00'	-53°14'
17:00	-61°42'	-67°06'	-76°01'	-86°54'	-95°35'	-99°11'	-96°38'	-90°06'	-82°37'	-75°04'		
18:00			-85°34'	-96°06'	-104°11'	-107°24'	-105°01'	-99°05'	-91°58'			
19:00					-113°00'	-115°54'	-113°35'					
20:00												
21:00												

Fig.3.5 - Angolo azimutale solare

Per ogni aerogeneratore sono state individuate le proiezioni al suolo durante l'arco della giornata per i quattro periodi dell'anno solstizio invernale, equinozio di primavera, solstizio d'estate ed equinozio d'autunno (Fig.3.6 - Fig.3.52).

**Aerogeneratore CAN\_01 (37°52'48.46"N - 12°52'34.87"E)**



Fig.3.6 - Proiezione ombra CAN\_01 (21.03 - equinozio di primavera)

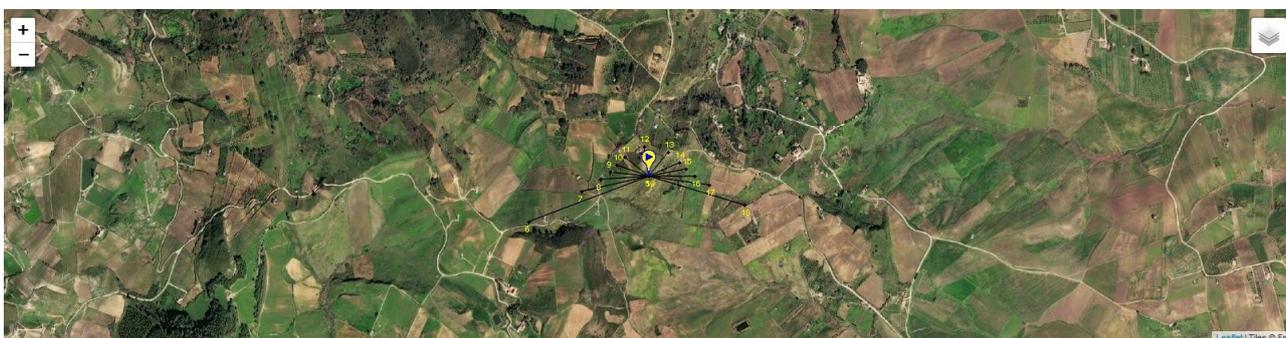
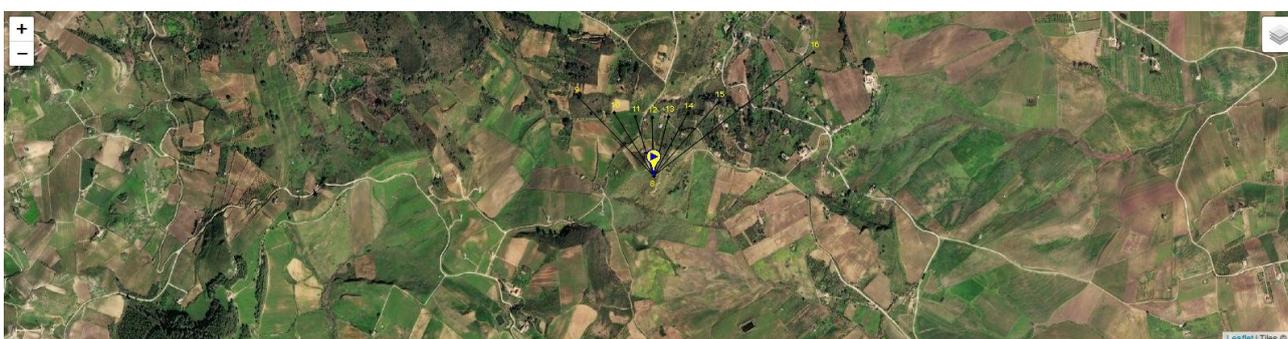


Fig.3.7 - Proiezione ombra CAN\_01 (21.06 - solstizio d'estate)



**Fig.3.8 - Proiezione ombra CAN\_01 (21.09 - equinozio d'autunno)**



**Fig.3.9 - Proiezione ombra CAN\_01 (21.12 - solstizio invernale)**

**Aerogeneratore CAN\_02 (37°52'37.76"N - 12°53'14.01"E)**



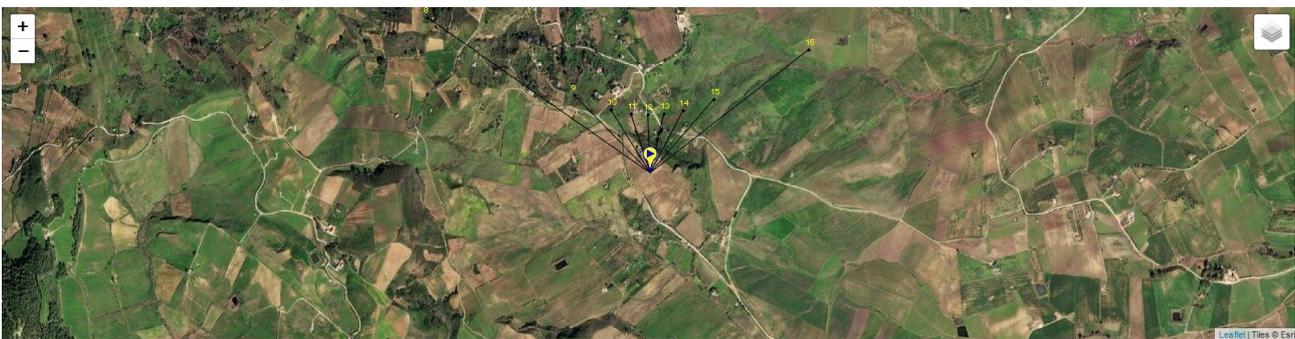
**Fig.3.10 - Proiezione ombra CAN\_02 (21.03 - equinozio di primavera)**



**Fig.3.11 - Proiezione ombra CAN\_02 (21.06 - solstizio d'estate)**



**Fig.3.12- Proiezione ombra CAN\_02 (21.09 - equinozio d'autunno)**



**Fig.3.13 - Proiezione ombra CAN\_02 (21.12 - solstizio invernale)**

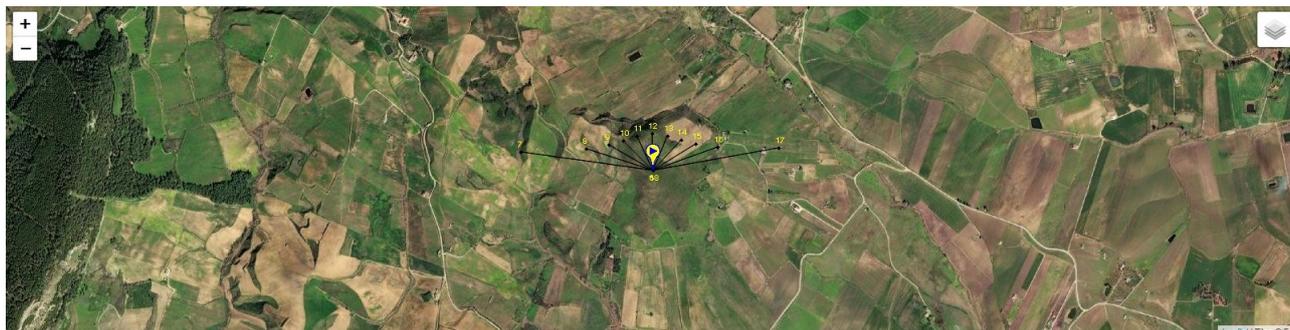
**Aerogeneratore CAN\_03 (37°52'7.28"N - 12°52'59.75"E)**



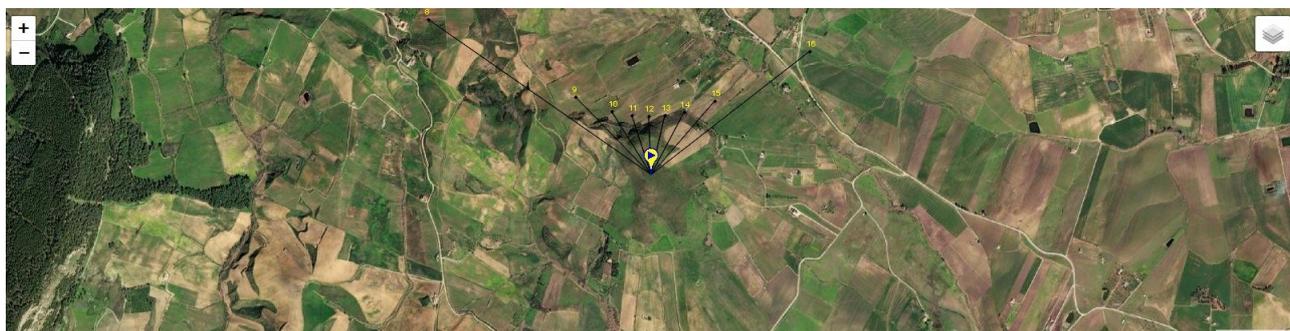
**Fig.3.14 - Proiezione ombra CAN\_03 (21.03 - equinozio di primavera)**



**Fig.3.15- Proiezione ombra CAN\_03 (21.06 - solstizio d'estate)**



**Fig.3.16- Proiezione ombra CAN\_03 (21.09 - equinozio d'autunno)**

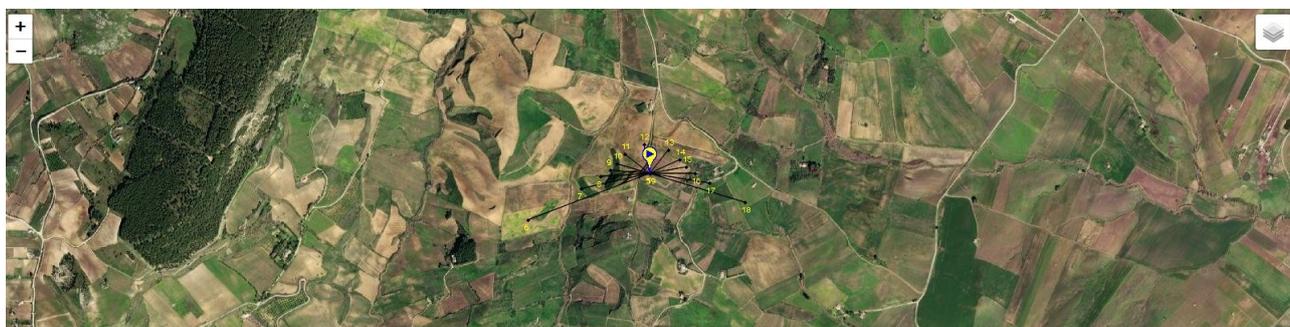


**Fig.3.17 - Proiezione ombra CAN\_03 (21.12 - solstizio invernale)**

**Aerogeneratore CAN\_04 (37°51'38.43"N - 12°52'16.01"E)**



**Fig.3.14 - Proiezione ombra CAN\_04 (21.04 - equinozio di primavera)**



**Fig.3.15- Proiezione ombra CAN\_04 (21.06 - solstizio d'estate)**



**Fig.3.16 - Proiezione ombra CAN\_04 (21.09 - equinozio d'autunno)**

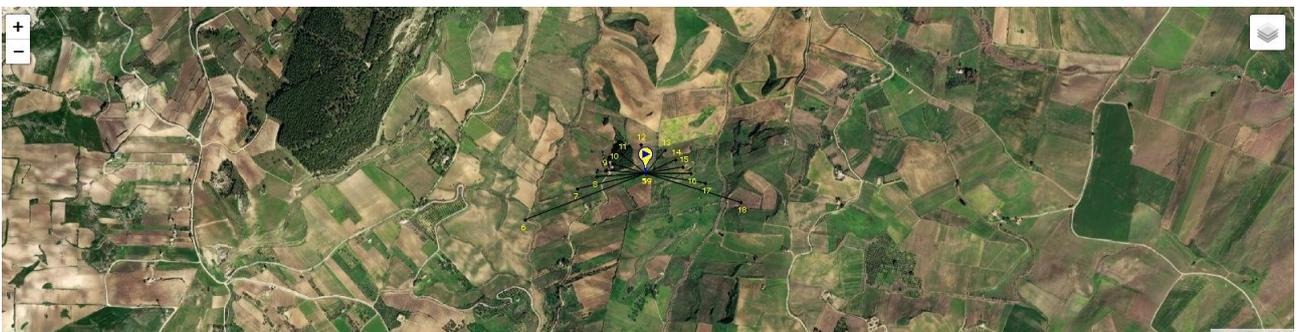


**Fig.3.17 - Proiezione ombra CAN\_04 (21.12 - solstizio invernale)**

**Aerogeneratore CAN\_05 (37°51'25.62"N - 12°51'46.19"E)**



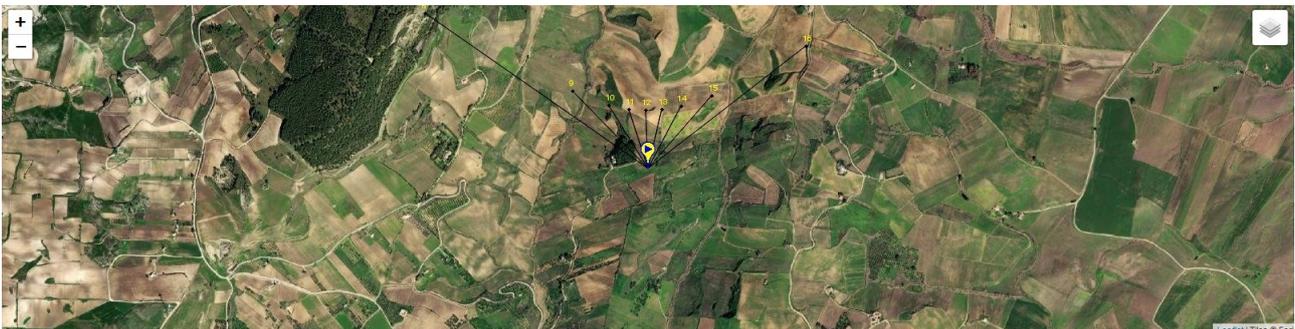
**Fig.3.18 - Proiezione ombra CAN\_05 (21.03 - equinozio di primavera)**



**Fig.3.19 - Proiezione ombra CAN\_05 (21.06 - solstizio d'estate)**



**Fig.3.20- Proiezione ombra CAN\_05 (21.09 - equinozio d'autunno)**

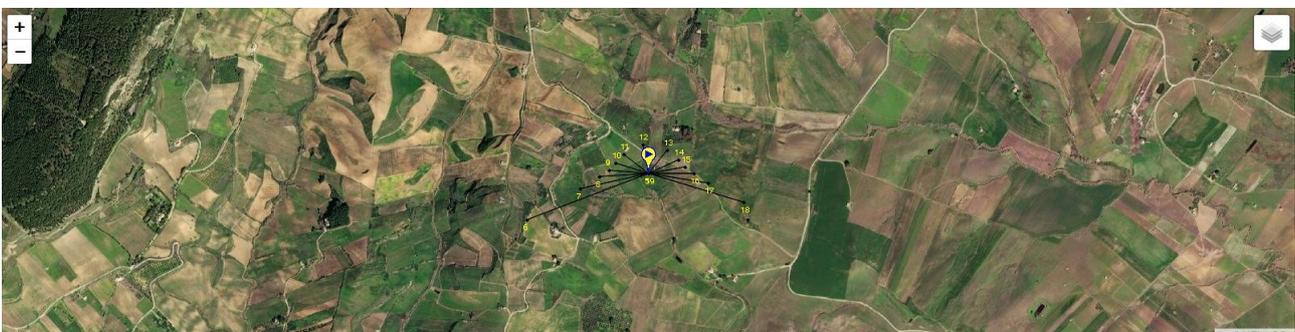


**Fig.3.21 - Proiezione ombra CAN\_05 (21.12 - solstizio invernale)**

**Aerogeneratore CAN\_06 (37°51'33.00"N - 12°52'41.84"E)**



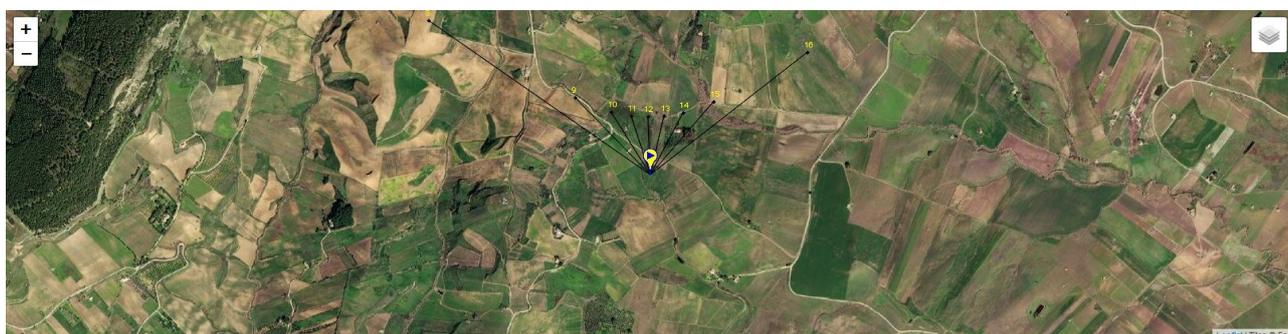
**Fig.3.22 - Proiezione ombra CAN\_06 (21.03 - equinozio di primavera)**



**Fig.3.23- Proiezione ombra CAN\_06 (21.06 - solstizio d'estate)**

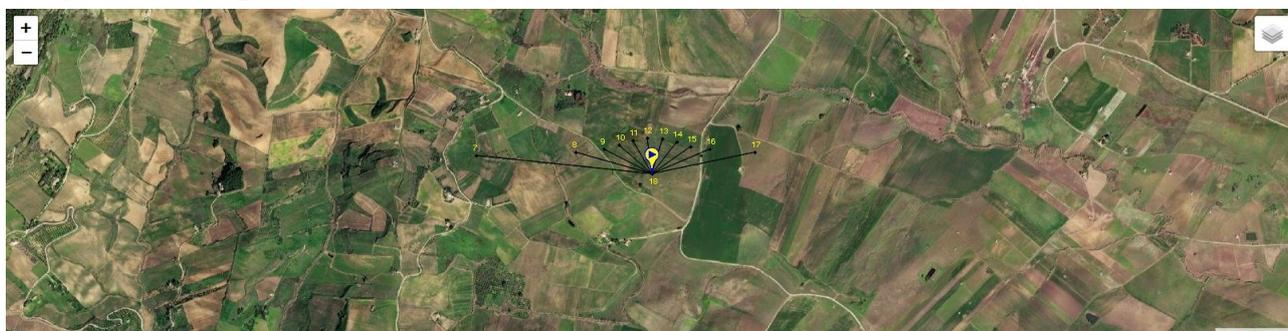


**Fig.3.24- Proiezione ombra CAN\_06 (21.09 - equinozio d'autunno)**

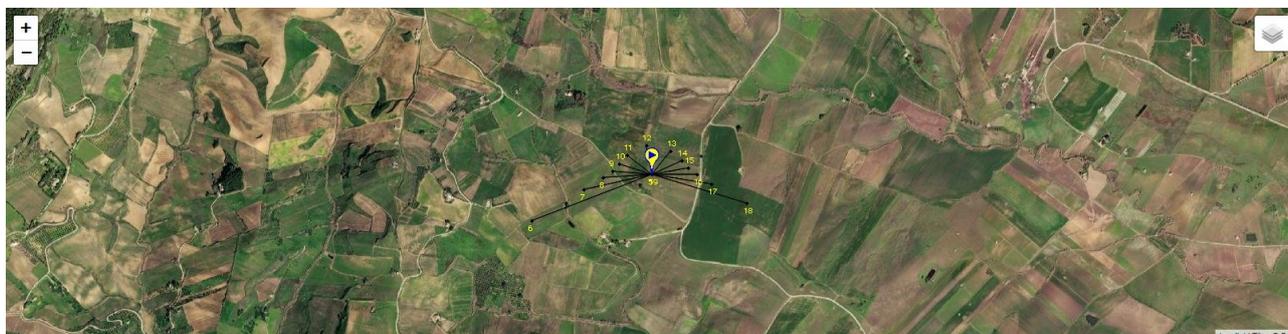


**Fig.3.25 - Proiezione ombra CAN\_06 (21.12 - solstizio invernale)**

**Aerogeneratore CAN\_07 (37°51'29.10"N - 12°53'1.85"E)**



**Fig.3.26 - Proiezione ombra CAN\_07 (21.03 - equinozio di primavera)**



**Fig.3.27- Proiezione ombra CAN\_07 (21.06 - solstizio d'estate)**



**Fig.3.28 - Proiezione ombra CAN\_07 (21.09 - equinozio d'autunno)**



**Fig.3.29 - Proiezione ombra CAN\_07 (21.12 - solstizio invernale)**

**Aerogeneratore CAN\_08 (37°51'2.88"N - 12°51'39.36"E)**



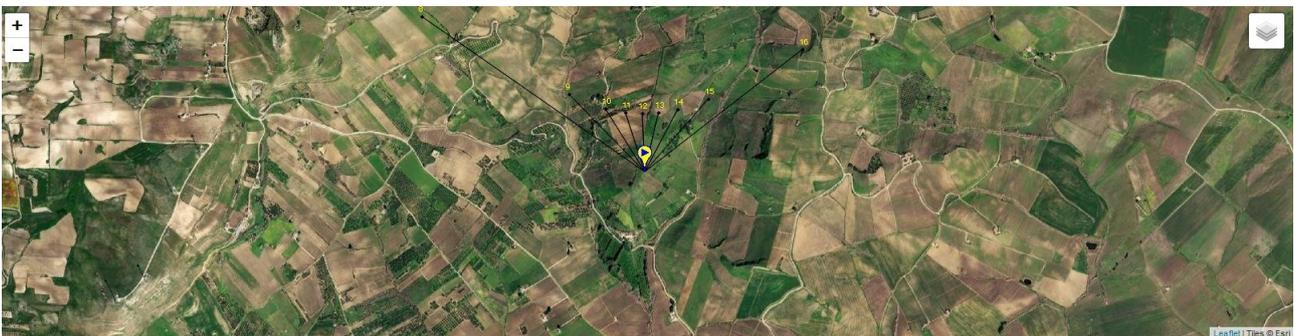
**Fig.3.30 - Proiezione ombra CAN\_08 (21.03 - equinozio di primavera)**



**Fig.3.31 - Proiezione ombra CAN\_08 (21.06 - solstizio d'estate)**



**Fig.3.32 - Proiezione ombra CAN\_08 (21.09 - equinozio d'autunno)**

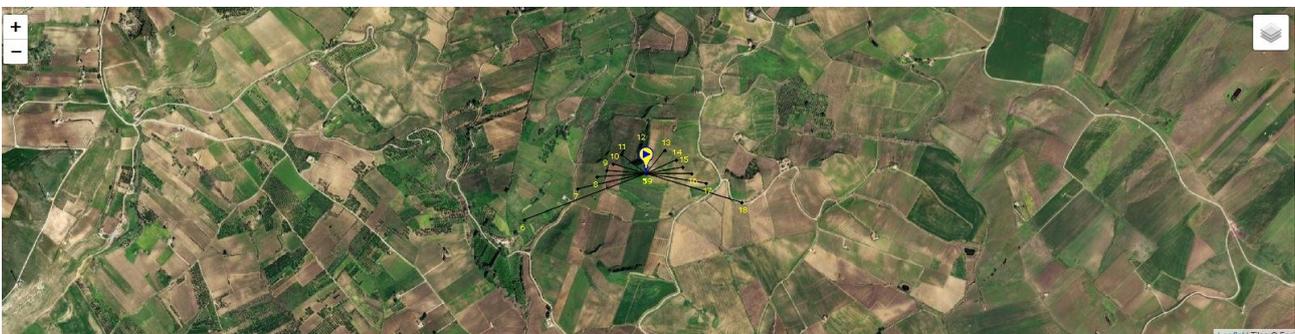


**Fig.3.33 - Proiezione ombra CAN\_08 (21.12 - solstizio invernale)**

**Aerogeneratore CAN\_09 (37°51'0.92"N - 12°52'1.81"E)**



**Fig.3.34 - Proiezione ombra CAN\_09 (21.03 - equinozio di primavera)**



**Fig.3.35- Proiezione ombra CAN\_09 (21.06 - solstizio d'estate)**



**Fig.3.36 - Proiezione ombra CAN\_09 (21.09 - equinozio d'autunno)**

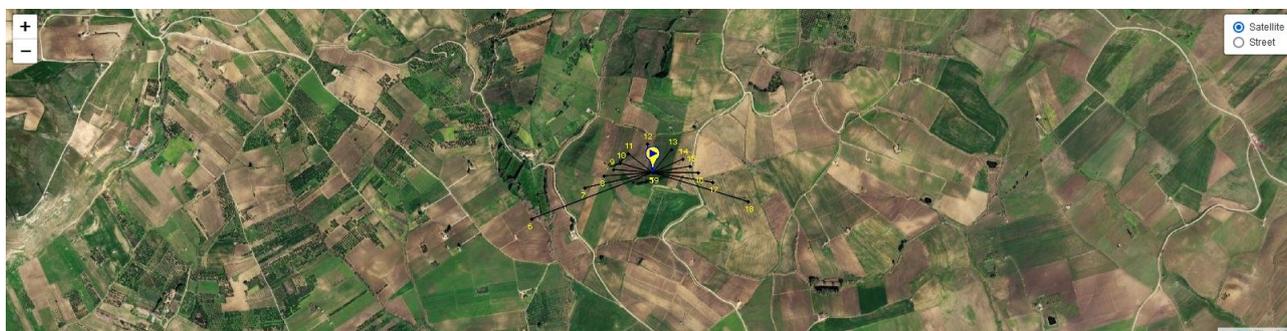


**Fig.3.36 - Proiezione ombra CAN\_09 (21.12 - solstizio invernale)**

**Aerogeneratore CAN\_10 (37°50'47.30"N - 12°51'59.81"E)**



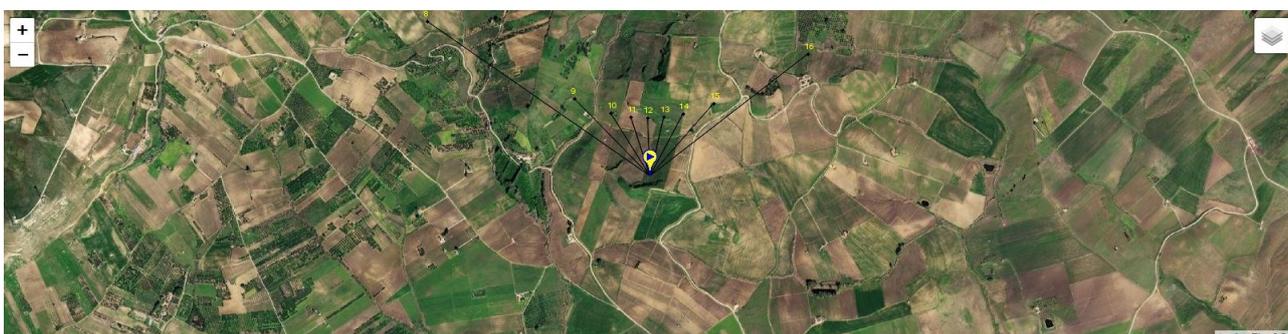
**Fig.3.37 - Proiezione ombra CAN\_10 (21.03 - equinozio di primavera)**



**Fig.3.38 - Proiezione ombra CAN\_10 (21.06 - solstizio d'estate)**

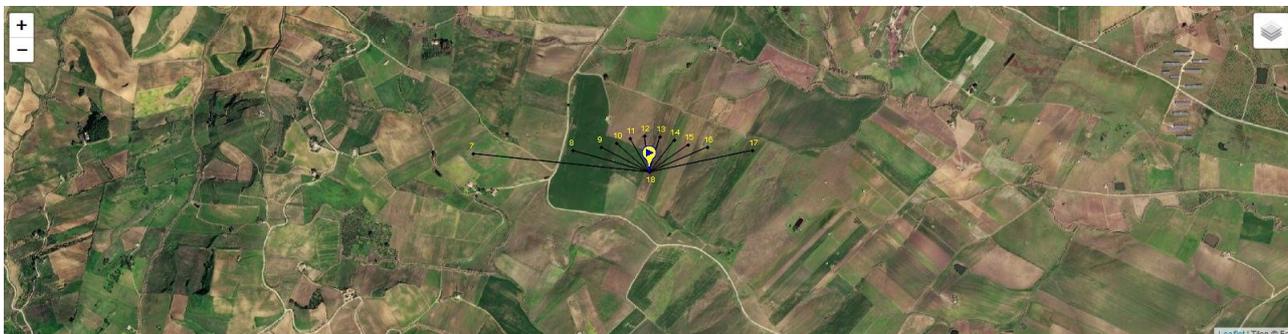


**Fig.3.39 - Proiezione ombra CAN\_10 (21.09 - equinozio d'autunno)**



**Fig.3.40 - Proiezione ombra CAN\_10 (21.12 - solstizio invernale)**

**Aerogeneratore CAN\_11 (37°51'21.01"N - 12°53'28.01"E)**



**Fig.3.41 - Proiezione ombra CAN\_11 (21.03 - equinozio di primavera)**



**Fig.3.42 Proiezione ombra CAN\_11 (21.06 - solstizio d'estate)**



**Fig.3.43 - Proiezione ombra CAN\_11 (21.09 - equinozio d'autunno)**

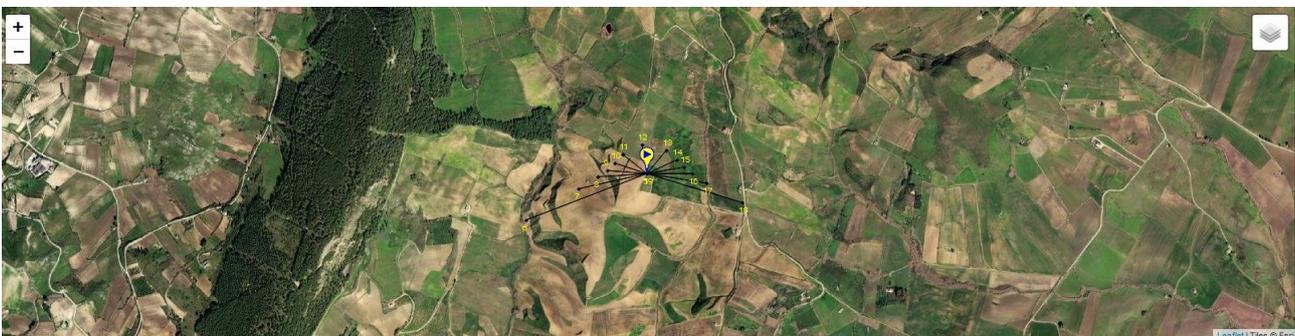


**Fig.3.44 - Proiezione ombra CAN\_11 (21.12 - solstizio invernale)**

**CAN\_12 (37°51'59.65"N - 12°51'58.25"E)**



**Fig.3.45 - Proiezione ombra CAN\_12 (21.03 - equinozio di primavera)**



**Fig.3.46 Proiezione ombra CAN\_12 (21.06 - solstizio d'estate)**

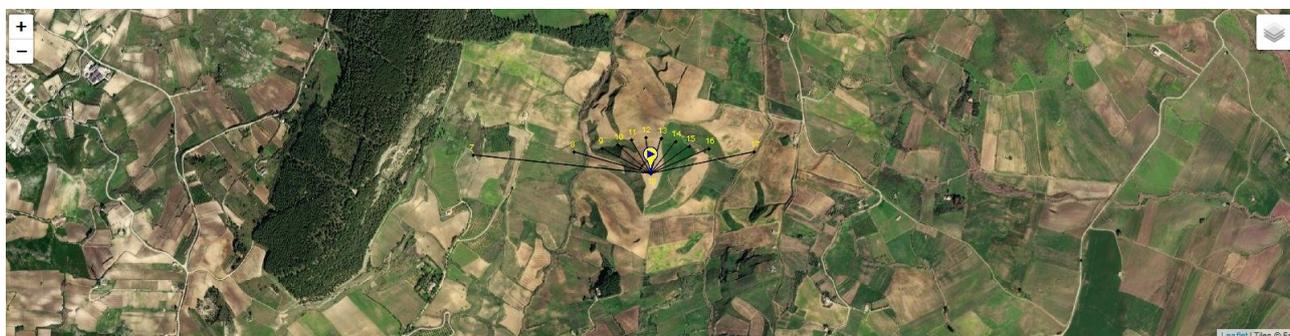


**Fig.3.47 - Proiezione ombra CAN\_12 (21.09 - equinozio d'autunno)**



**Fig.3.48 - Proiezione ombra CAN\_12 (21.12 - solstizio invernale)**

**Aerogeneratore CAN\_13 (37°51'44.64"N - 12°51'48.84"E)**



**Fig.3.49 - Proiezione ombra CAN\_13 (21.03 - equinozio di primavera)**



**Fig.3.50 - Proiezione ombra CAN\_13 (21.06 - solstizio d'estate)**

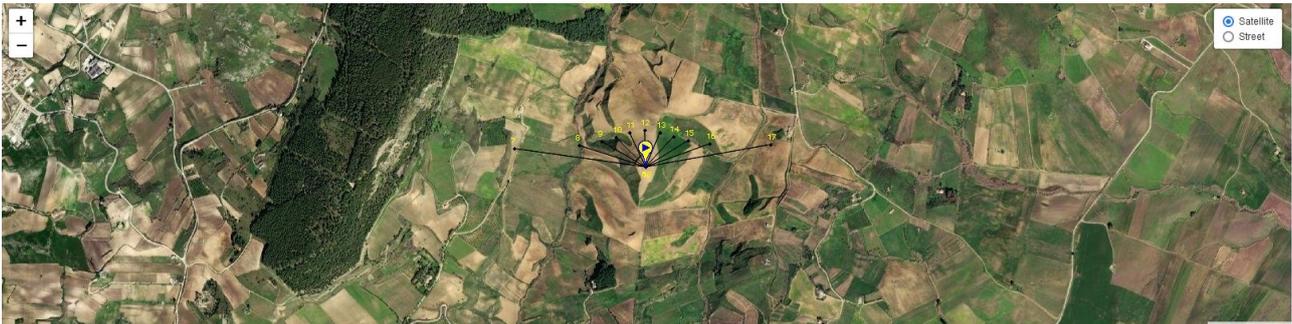


Fig.3.51 - Proiezione ombra CAN\_13 (21.09 - equinozio d'autunno)



Fig.3.52 - Proiezione ombra CAN\_13 (21.12 - solstizio invernale)

Successivamente si è provveduto alla sovrapposizione dei quattro grafici, per ottenere l'evoluzione delle ombre degli aerogeneratori in tutti i periodi dell'anno considerati.

In questo modo, sovrapponendo tale grafico in opportuna scala sul layout dell'impianto, si può immediatamente valutare l'eventuale intersezione delle ombre con i ricettori circostanti.

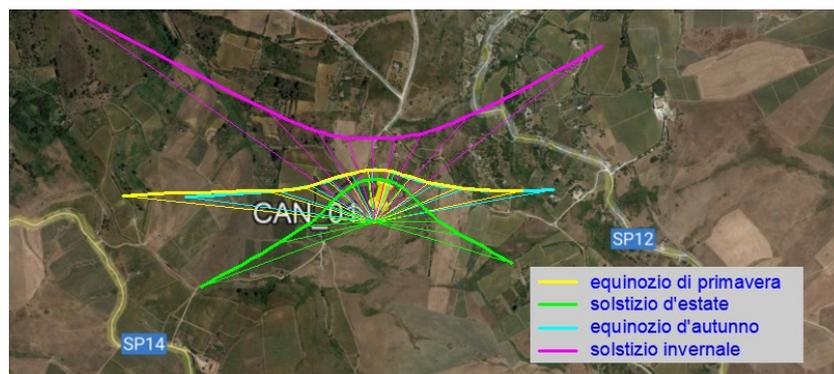


Fig.3.53 - Sovrapposizione ombre aerogeneratore 01

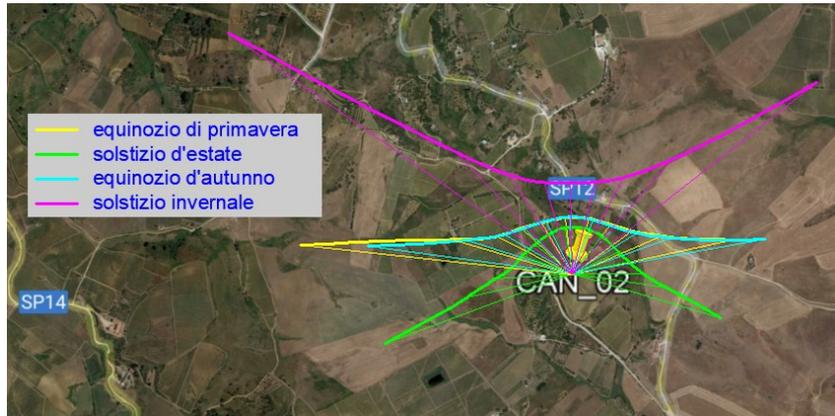


Fig.3.54 - Sovrapposizione ombre sull'aerogeneratore 02

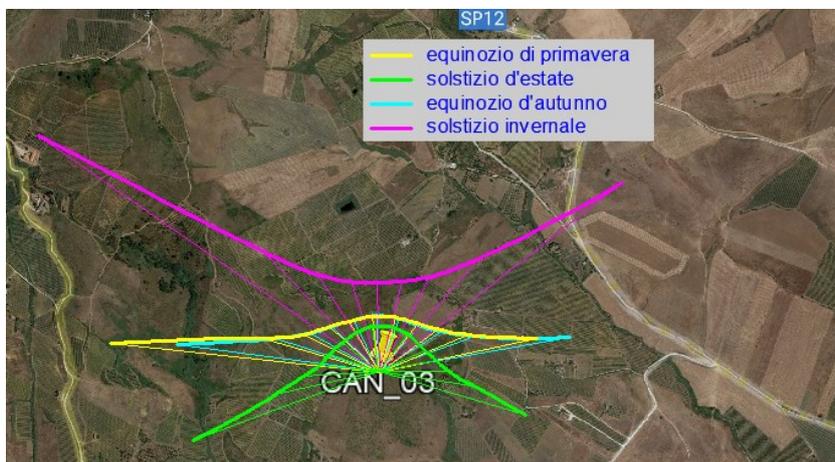


Fig.3.55 - Sovrapposizione ombre aerogeneratore 03

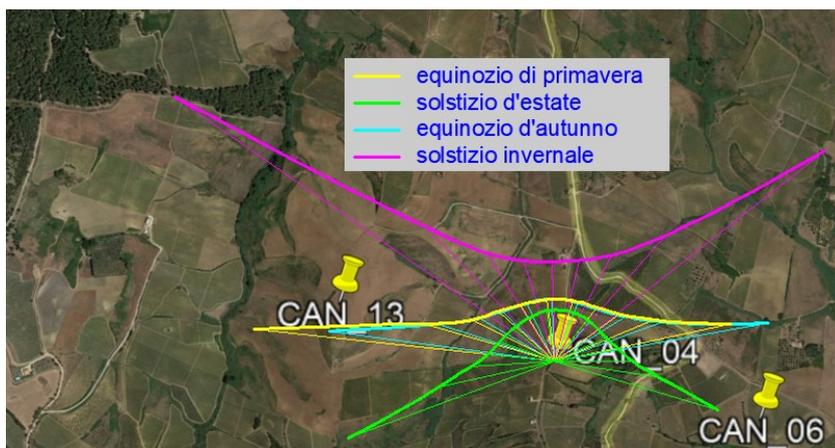


Fig.3.56 - Sovrapposizione ombre aerogeneratore 04

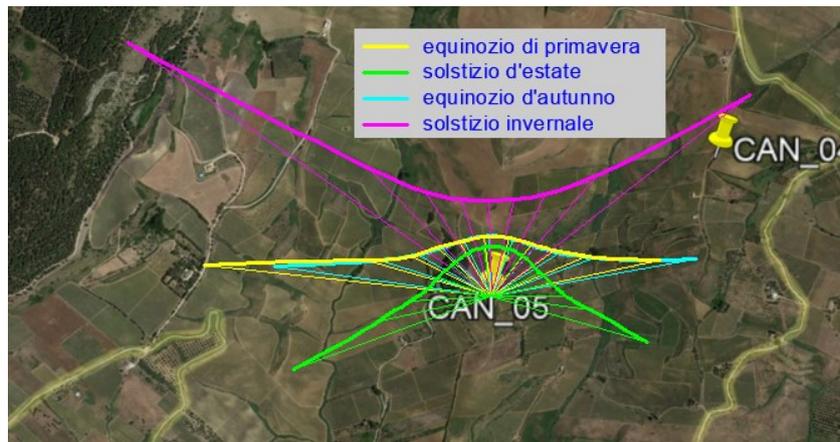


Fig.3.57 - Sovrapposizione ombre aerogeneratore 05



Fig.3.58 - Sovrapposizione ombre aerogeneratore 06

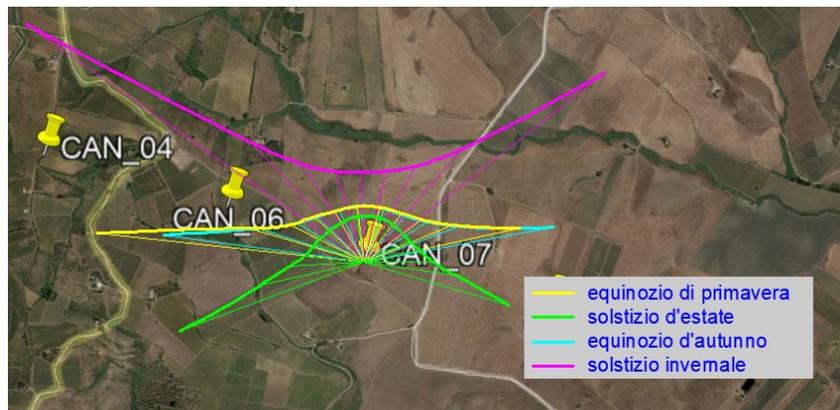


Fig.3.59 - Sovrapposizione ombre aerogeneratore 07

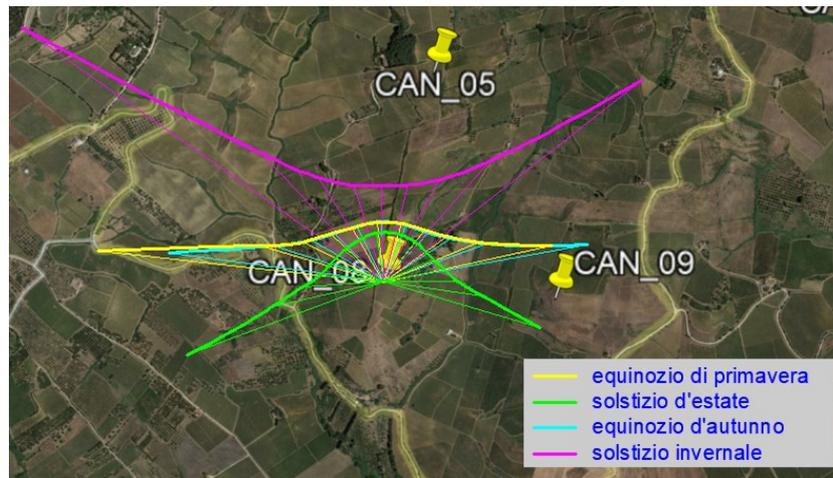


Fig.3.60 - Sovrapposizione ombre aerogeneratore 08

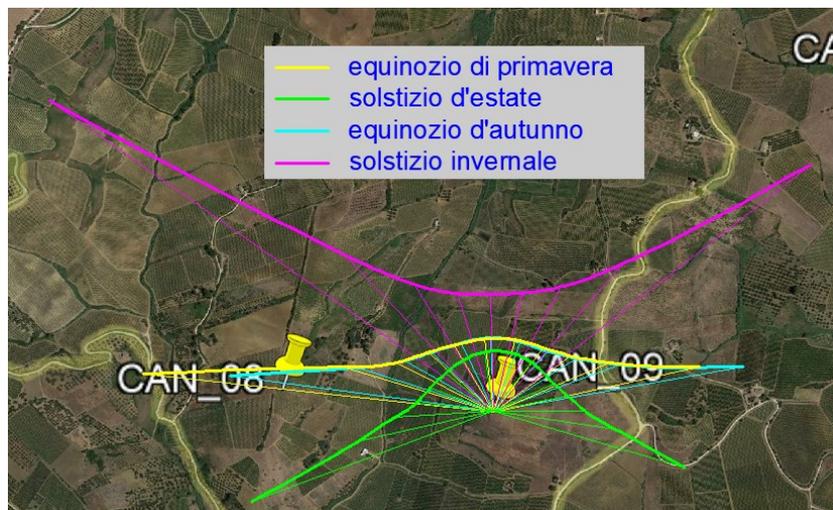


Fig.3.61 - Sovrapposizione ombre aerogeneratore 09

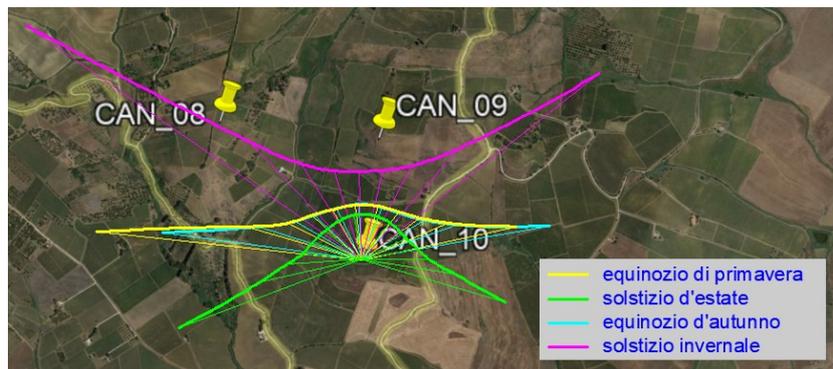


Fig.3.62 - Sovrapposizione ombre aerogeneratore 10

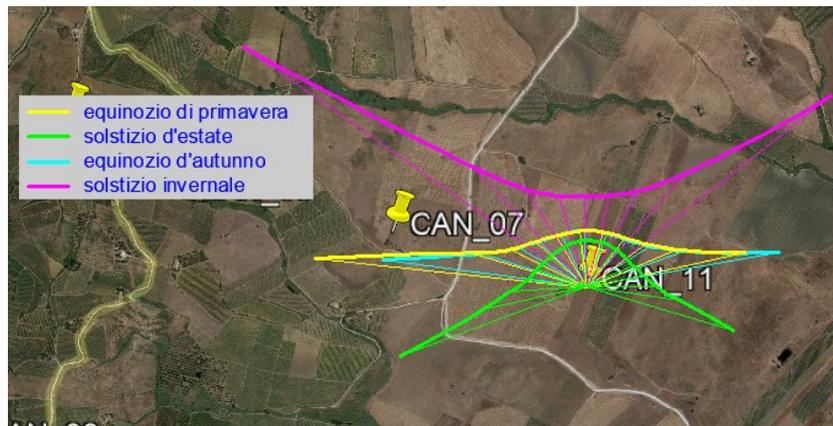


Fig.3.63 - Sovrapposizione ombre aerogeneratore 11

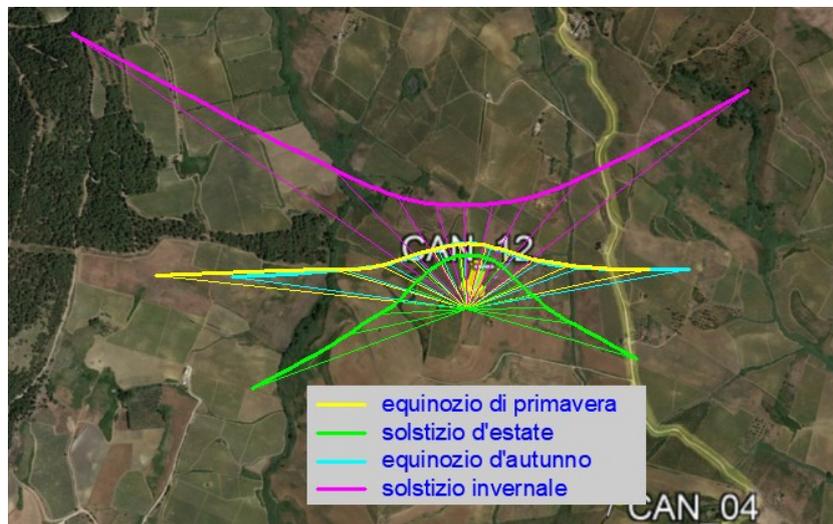


Fig.3.64 - Sovrapposizione ombre aerogeneratore 12

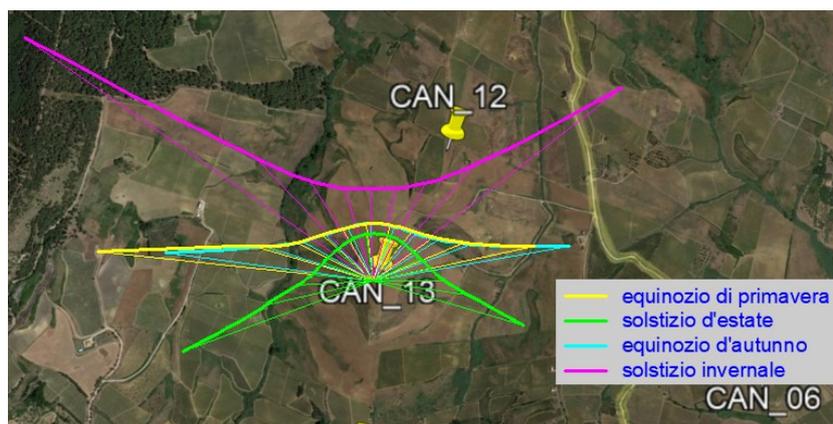


Fig.3.65 - Sovrapposizione ombre aerogeneratore 13

#### 4. Determinazione dei ricettori

Dall'analisi del territorio circostante l'area, dopo aver eseguito diversi rilevamenti e sopralluoghi in sito, è stata redatta una mappa (fig. 4.1 – fig. 4.5) della posizione dei ricettori esistenti che interferiscono con l'ombreggiamento degli aerogeneratori.

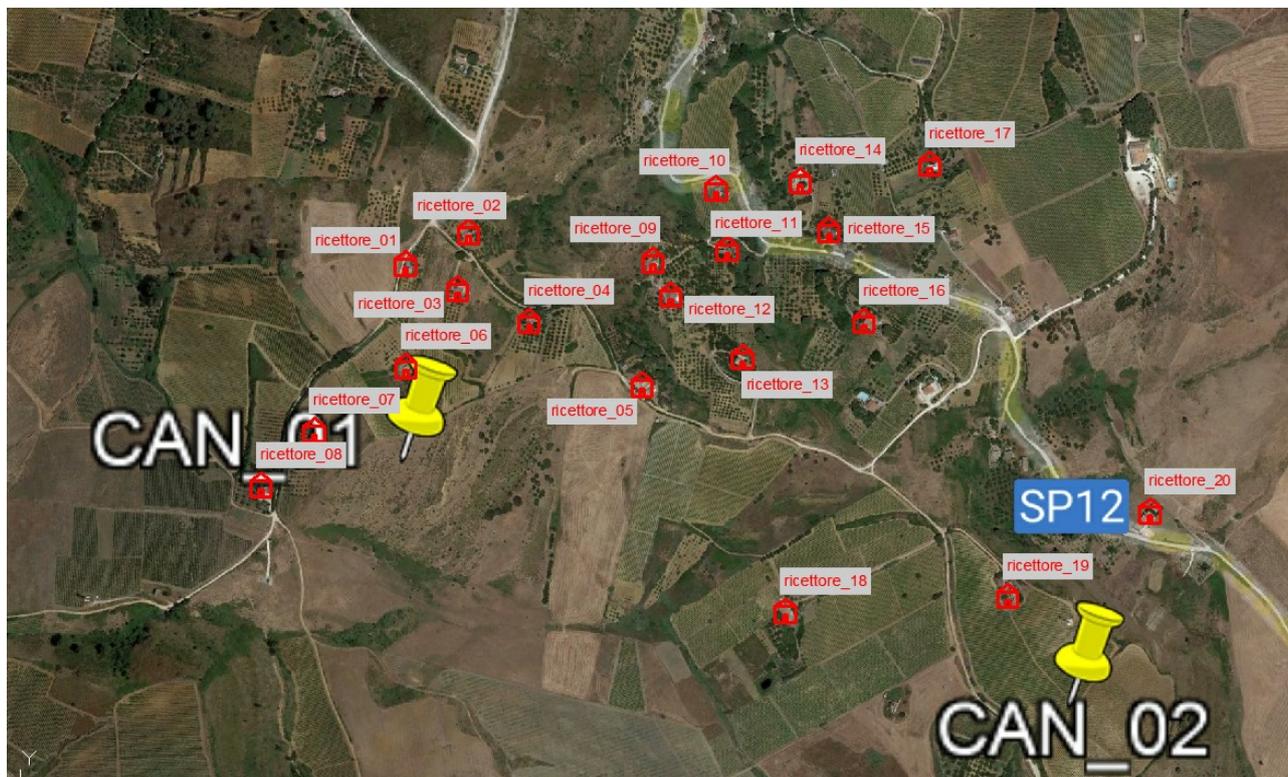


Fig.4.1 - Planimetria con posizione dei ricettori rispetto agli aerogeneratori

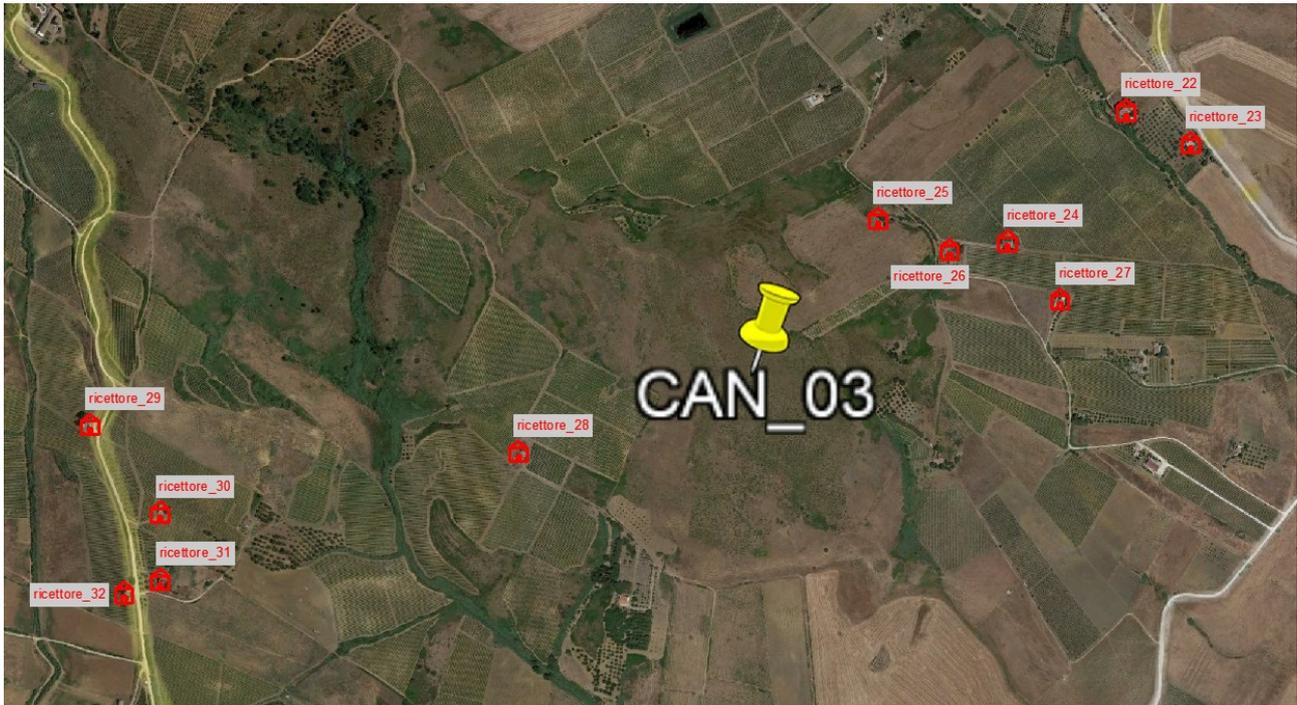


Fig.4.2 - Planimetria con posizione dei ricettori rispetto agli aerogeneratori

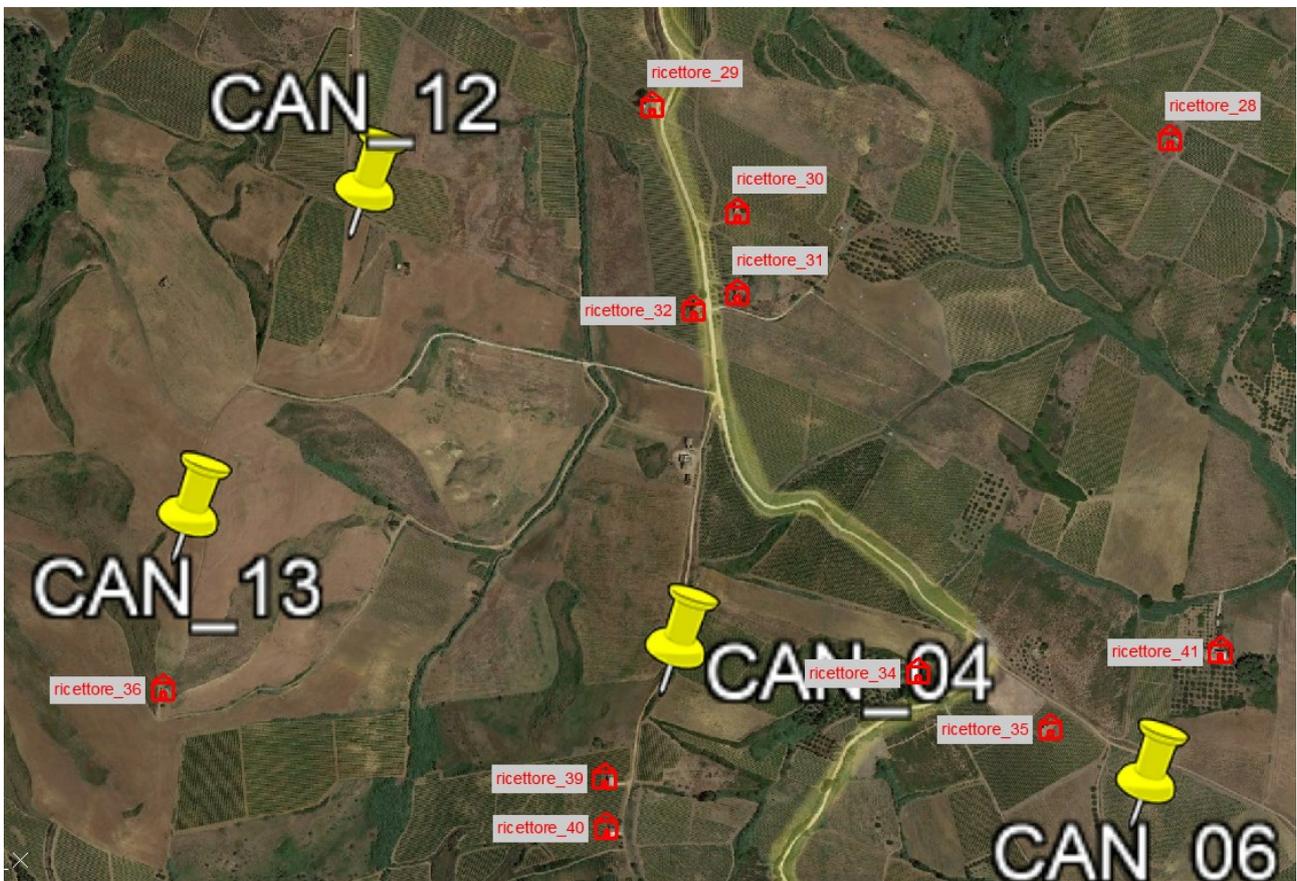


Fig.4.3 - Planimetria con posizione dei ricettori rispetto agli aerogeneratori

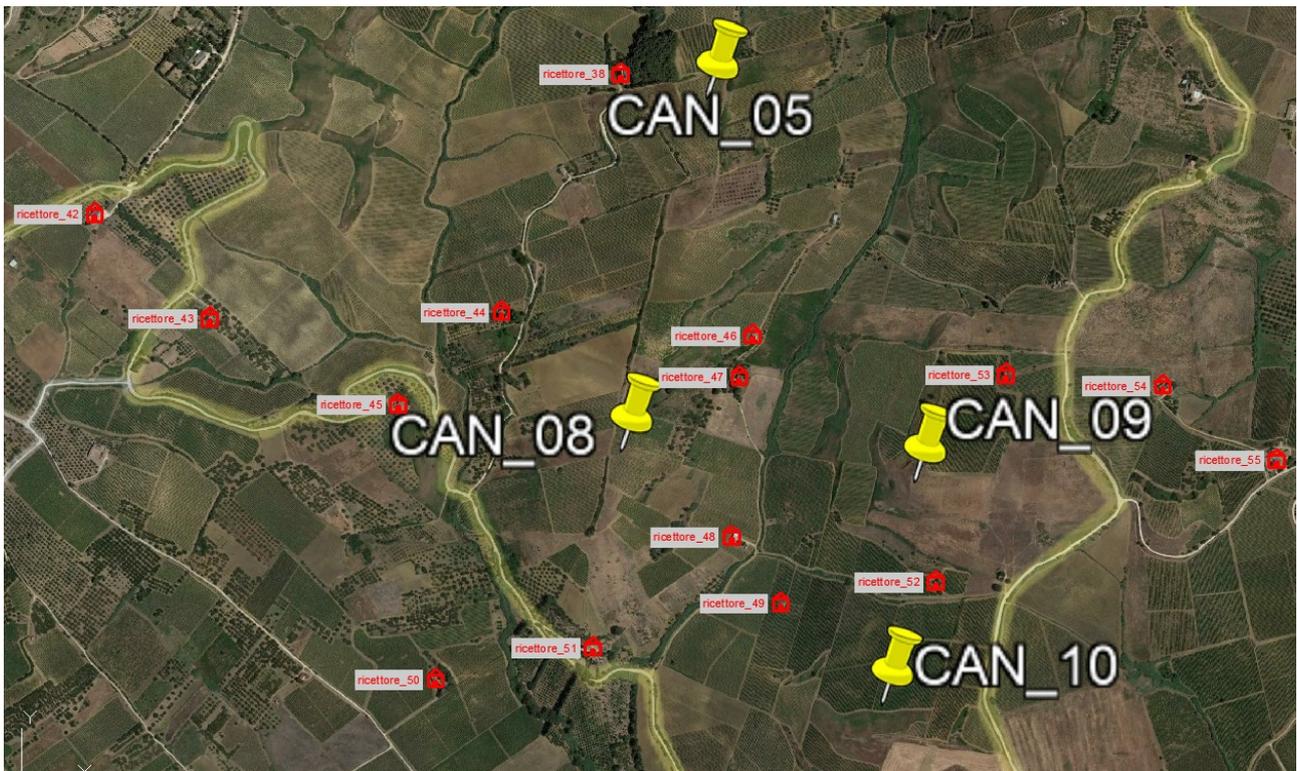


Fig.4.4 - Planimetria con posizione dei ricettori rispetto agli aerogeneratori

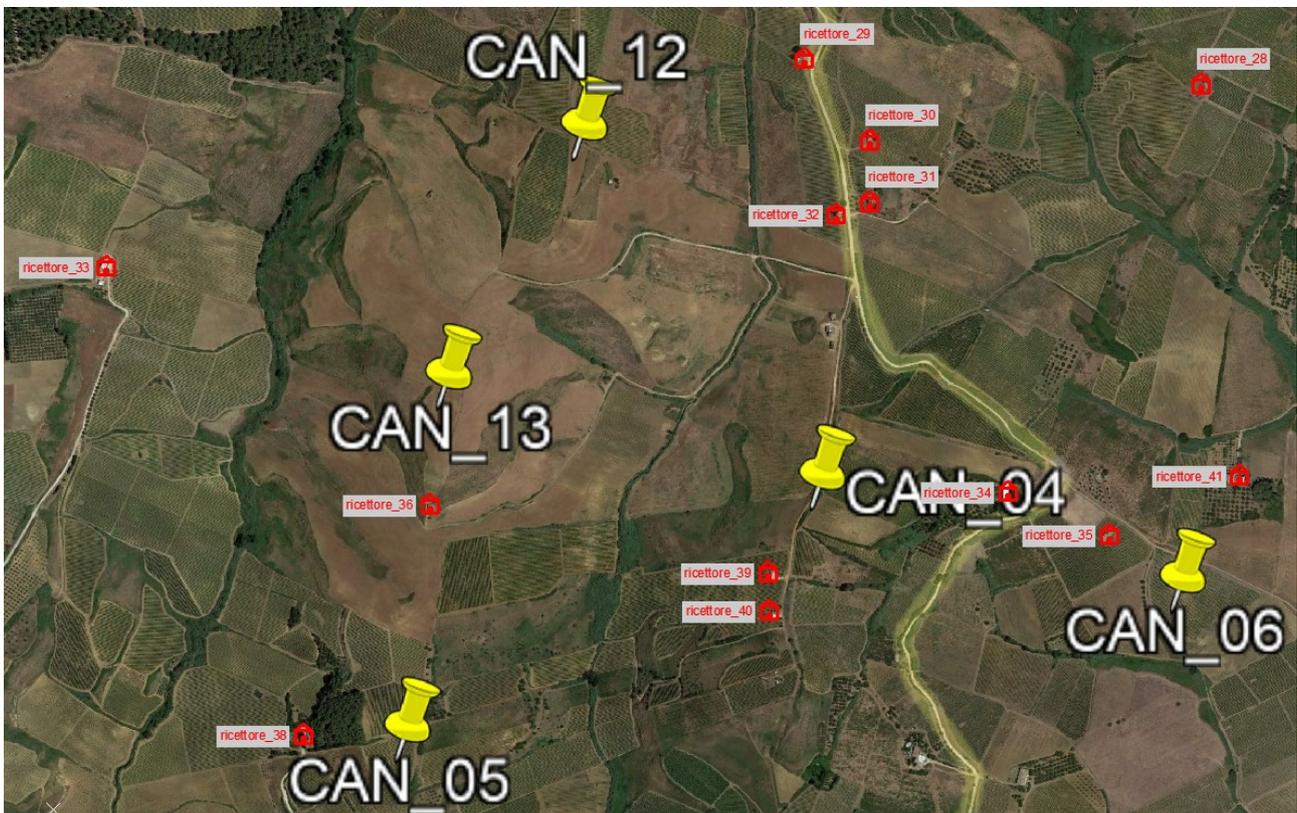


Fig.4.5 - Planimetria con posizione dei ricettori rispetto agli aerogeneratori

Ricettore	Coordinate	fotografia	Descrizione
Ricettore_01	37°52'57.17"N 12°52'36.02"E		Magazzino per deposito attrezzi agricoli
Ricettore_02	37°52'58.84"N 12°52'39.31"E		Magazzino per deposito attrezzi agricoli
Ricettore_03	37°52'56.39"N 12°52'38.87"E		Edificio non residenziale con magazzino per deposito attrezzi agricoli
Ricettore_04	37°52'54.71"N 12°52'42.98"E		Magazzino per deposito attrezzi agricoli

Ricettore_05	37°52'51.71"N 12°52'49.58"E		Magazzino per deposito attrezzi agricoli
Ricettore_06	37°52'52.55"N 12°52'35.93"E		Magazzino per deposito attrezzi agricoli
Ricettore_07	37°52'49.13"N 12°52'30.48"E		Magazzino per deposito attrezzi agricoli
Ricettore_08	37°52'46.93"N 12°52'27.75"E		Magazzino per deposito attrezzi agricoli

Ricettore_09	37°52'57.94"N 12°52'50.24"E		Magazzino per deposito attrezzi agricoli
Ricettore_10	37°53'1.45"N 12°52'54.24"E		Magazzino per deposito attrezzi agricoli
Ricettore_11	37°52'58.67"N 12°52'54.27"E		Magazzino per deposito attrezzi agricoli
Ricettore_12	37°52'56.45"N 12°52'51.35"E		Magazzino per deposito attrezzi agricoli
Ricettore_13	37°52'53.21"N 12°52'55.11"E		Magazzino per deposito attrezzi agricoli

Ricettore_14	37°53'2.09"N 12°52'58.67"E		Edificio non residenziale e magazzino per deposito attrezzi agricoli
Ricettore_15	37°52'59.54"N 12°53'0.76"E		Magazzino per deposito attrezzi agricoli
Ricettore_16	37°52'55.11"N 12°53'2.79"E		Edificio non residenziale e magazzino per deposito attrezzi agricoli
Ricettore_17	37°53'2.90"N 12°53'6.67"E		Magazzino per deposito attrezzi agricoli

Ricettore_18	37°52'42.01"N 12°52'57.79"E		Magazzino per deposito attrezzi agricoli
Ricettore_19	37°52'42.51"N 12°53'11.01"E		Magazzino per deposito attrezzi agricoli
Ricettore_20	37°52'46.44"N 12°53'19.01"E		Edificio non residenziale e magazzino per deposito attrezzi agricoli
Ricettore_21	37°52'39.40"N 12°53'39.98"E		Magazzino per deposito attrezzi agricoli
Ricettore_22	37°52'21.51"N 12°53'25.24"E		Magazzino per deposito attrezzi agricoli

Ricettore_23	37°52'19.68"N 12°53'29.43"E		Magazzino per deposito attrezzi agricoli
Ricettore_24	37°52'14.35"N 12°53'17.13"E		Magazzino per deposito attrezzi agricoli
Ricettore_25	37°52'15.09"N 12°53'8.09"E		Magazzino per deposito attrezzi agricoli
Ricettore_26	37°52'13.73"N 12°53'12.89"E		Magazzino per deposito attrezzi agricoli – edifici diruti
Ricettore_27	37°52'11.16"N 12°53'20.40"E		Magazzino per deposito attrezzi agricoli

Ricettore_28	37°52'2.92"N 12°52'44.12"E		Magazzino per deposito attrezzi agricoli
Ricettore_29	37°52'4.74"N 12°52'15.62"E		Edificio non residenziale e magazzino per deposito attrezzi agricoli
Ricettore_30	37°52'0.03"N 12°52'20.39"E		Magazzino per deposito attrezzi agricoli
Ricettore_31	37°51'56.13"N 12°52'20.47"E		Magazzino per deposito attrezzi agricoli
Ricettore_32	37°51'55.48"N 12°52'18.26"E		Magazzino per deposito attrezzi agricoli

Ricettore_33	37°51'52.57"N 12°51'25.61"E		Magazzino per deposito attrezzi agricoli
Ricettore_34	37°51'39.73"N 12°52'30.62"E		Magazzino per deposito attrezzi agricoli
Ricettore_35	37°51'40.65"N 12°52'36.64"E		Magazzino per deposito attrezzi agricoli
Ricettore_36	37°51'39.14"N 12°51'48.95"E		Magazzino per deposito attrezzi agricoli

Ricettore_37	37°51'37.87"N 12°51'10.49"E		Edificio non residenziale
Ricettore_38	37°51'26.04"N 12°51'40.08"E		Edificio non residenziale e magazzino per deposito attrezzi agricoli
Ricettore_39	37°51'35.19"N 12°52'13.36"E		Magazzino per deposito attrezzi agricoli
Ricettore_40	37°51'32.88"N 12°52'13.50"E		Magazzino per deposito attrezzi agricoli

Ricettore_41	37°51'40.13"N 12°52'46.88"E		Magazzino per deposito attrezzi agricoli
Ricettore_42	37°51'17.63"N 12°50'59.83"E		Magazzino per deposito attrezzi agricoli
Ricettore_43	37°51'10.98"N 12°51'7.78"E		Magazzino per deposito attrezzi agricoli e edificio diruto
Ricettore_44	37°51'11.21"N 12°51'30.21"E		Magazzino per deposito attrezzi agricoli

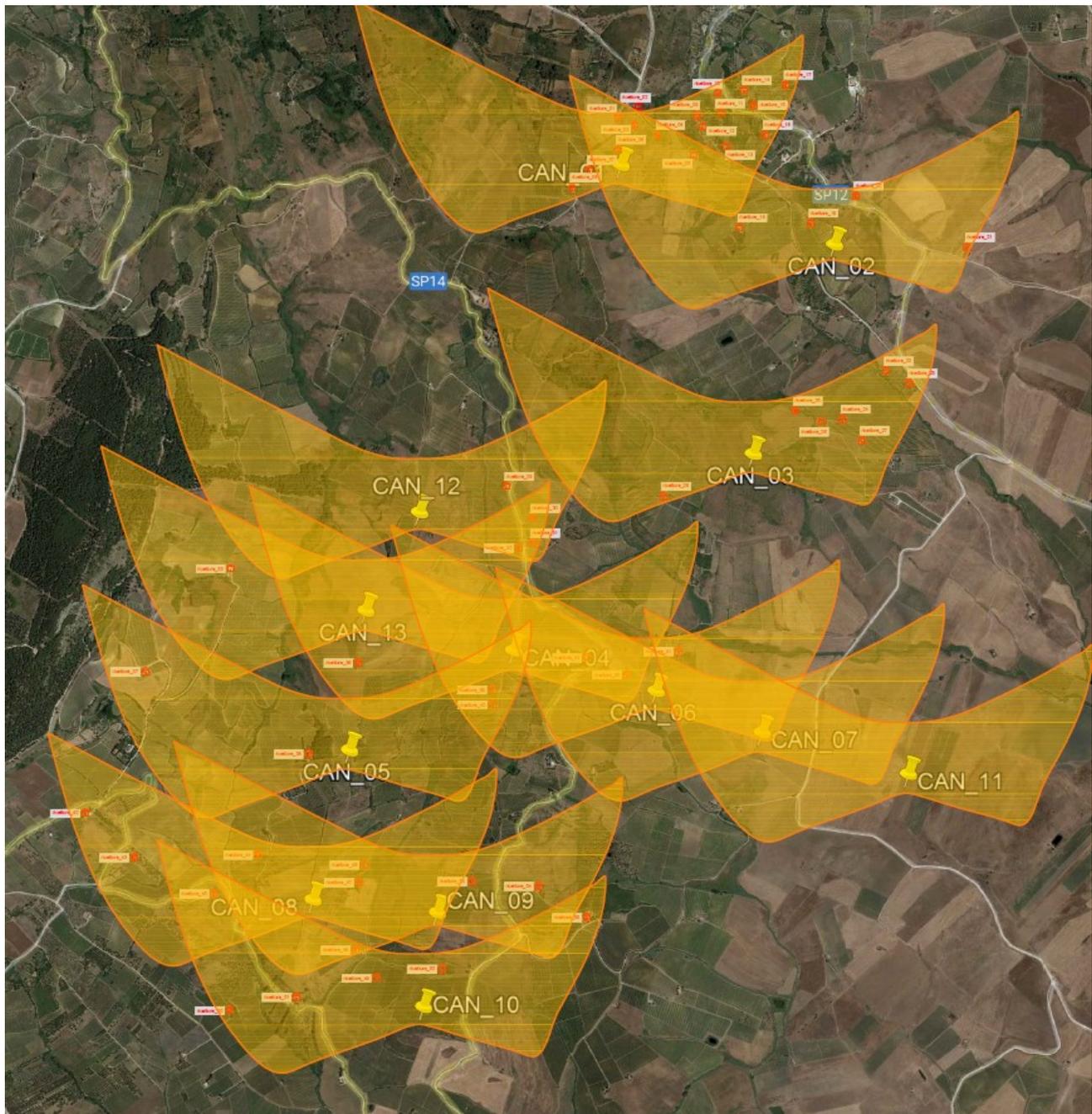
Ricettore_45	37°51'5.40"N 12°51'21.95"E		Magazzino per deposito attrezzi agricoli
Ricettore_46	37°51'11.05"N 12°51'30.16"E		Magazzino per deposito attrezzi agricoli
Ricettore_47	37°51'7.25"N 12°51'31.72"E		Magazzino per deposito attrezzi agricoli
Ricettore_48	37°50'57.04"N 12°51'47.85"E		Magazzino per deposito attrezzi agricoli

Ricettore_49	37°50'53.02"N 12°51'51.75"E		Magazzino per deposito attrezzi agricoli
Ricettore_50	37°50'48.31"N 12°51'24.76"E		Magazzino per deposito attrezzi agricoli
Ricettore_51	37°50'50.19"N 12°51'36.24"E		Edificio non residenziale e magazzini per deposito attrezzi agricoli
Ricettore_52	37°50'54.35"N 12°52'3.70"E		Magazzino per deposito attrezzi agricoli

Ricettore_53	37°51'7.40"N 12°52'9.32"E		Edificio diruto
Ricettore_54	37°51'6.36"N 12°52'21.41"E		Magazzino per deposito attrezzi agricoli
Ricettore_55	37°51'1.85"N 12°52'29.85"E		Edificio non residenziale

## 5. Risultati

Dall'analisi delle ombre effettuate, emerge che gli aerogeneratori proiettano le proprie ombre, ai ricettori individuati, in un periodo di tempo molto limitato. In particolare, si può osservare che tale periodo è quello che va dal solstizio d'inverno, all'equinozio di primavera, interessando le prime ore del mattino e le ultime ore della sera, quando l'intensità della luce è molto bassa, con un impatto di Shadow Flickering trascurabile.



*Fig.5.1 - Sovrapposizione dell'ombreggiamento degli aerogeneratori sui ricettori*

La frequenza dello Shadow Flickering è correlata alla velocità di rotazione del rotore; le frequenze tipiche per le macchine considerate nel presente progetto sono dell'ordine di 0.6 Hz (circa un passaggio ogni due secondi). In termini di impatto sulla popolazione, tali frequenze sono innocue; basti pensare che le lampade stroboscopiche, largamente impiegate nelle discoteche, producono frequenze comprese tra 5 e 10 Hz. Inoltre, a livello internazionale, è universalmente accettato che frequenze inferiori a 10 Hz non hanno alcuna correlazione con attacchi di natura epilettica.

Inoltre si evidenzia il fatto che i ricettori individuati consistono nella maggioranza dei casi in magazzini rurali impiegati solo ed esclusivamente per il deposito di attrezzi agricoli. Sono dunque immobili frequentati poche ore durante l'arco della giornata e soltanto durante le attività agricole che si manifestano durante il periodo autunnale e primaverile e dunque in corrispondenza di periodi in cui l'impatto dovuto all'ombreggiamento è minore.

## 6. Conclusioni

Dallo studio effettuato sulle ombre prodotte dagli aerogeneratori durante l'anno e in particolare nei quattro periodi più significativi (solstizio d'inverno, equinozio di primavera, solstizio d'estate ed equinozio d'autunno) emergono condizioni che danno luogo a lievissimi effetti di Shadow Flickering nelle zone circostanti l'impianto.

L'analisi condotta sull'effetto delle ombre nei punti sensibili in prossimità dell'area di impianto permette di osservare che:

- gli aerogeneratori non proietteranno ombra su abitazioni residenziali durante l'intero anno;
- le ombre generate interessano i ricettori coinvolti solo durante le prime e ultime ore del giorno con intensità della luce molto debole;

si conclude che, l'ubicazione prescelta per gli aerogeneratori non provoca effetti significativi di Shadow Flickering nei punti sensibili evidenziati.

Inoltre considerando la velocità massima di rotazione dei due aerogeneratori 12,1 rpm (giri minuto), corrispondenti a circa 0,6 Hz (circa un passaggio ogni due secondi), in termini di impatto sulla popolazione, e la scarsa luminosità dei brevi periodi di ombreggiamento, tali fenomeni sono da ritenersi innocui e privi di alcun effetto sulla salute delle persone.